

感覚機能に対する生活機器の設計解についての研究

上西園 武良^{*1} 岡田 明^{*2}

Study of a design solution for sensory function of equipments used in daily life

Takeyoshi Kaminishizono^{*1}, Akira Okada^{*2}

Abstract - The previous research has been summarized and classified in terms of defining a design solution for the desired value concerning human sensory function. We have found that the data are not sufficient to define the design solution systematically. Therefore, in this study, a systematic procedure based on the process of how humans react to an external stimulation was proposed. The design solution is obtained from the sensory evaluation value by determining the physical amount of the external stimulus quantitatively and obtaining correlations of the sensory evaluation value and the design value with the physical amount of stimulus. This procedure enabled us to find a corresponding design solution from the targeted sensory evaluation value. We also have confirmed validity of this procedure by applying this to "sensory intensity on the strength of warm water jet" and "dependence of easiness in turning over in bed on performance of pillows." Verification of the effectiveness of this technique in a large number of cases is required.

Key Words : Design values, Sensory function, Human centered design

1. はじめに

ヒトが家庭内において日常的に利用する機会の多い機器（以下「生活機器」）の設計に際しては、電気的・機械的な要求性能を満足させるのと同時に、ヒトの感覚機能に関する要求性能を満足させることは重要である。これは、ユーザに快適な生活を提供するという意味だけでなく、機器を提供するメーカーにとっても新たな価値を創造するビジネスチャンスとして捉えることができるからである。一般に感覚機能に対する要求値は官能値（官能評価結果）で表すため、生活機器の設計のためにはこの官能値に対する設計解を求める必要がある。この観点から様々な研究がなされているが、十分に体系的な手法は提案されておらず、個々の問題に対してケースバイケースの対応がなされている場合が多い。

上記のような背景の中で、本報では、感覚機能に関する要求値（官能値）に対する設計解を求めるための体系的な手法が十分に確立されていないという状況に対して、ひとつの解決案となりうる手法を提案する。

2. 生活機器設計が対象とする感覚機能

設計解を求める対象として、どのような感覚機能があるかを検討する。

ヒトの感覚機能の分類方法には、刺激による分類、刺激部位による分類、臨床的分類等[1]が存在する。生活機器との関連で検討するに当たっては、いずれの分類を用いても議論は可能であるが、生活機器が身体のどの部位を

刺激しているか、という観点での分類（臨床的分類）が議論を進めやすいため、本報では表1のような臨床的分類を用いる。

内臓感覚・嗅覚・味覚は生活機器との関連は薄いと考えられる。生活機器設計が主として対象とする感覚は、体性感覚（触覚、圧覚、深部感覚）および特殊感覚の中の視覚・聴覚などの感覚機能である。

ただし、視覚・聴覚に関して、パターン認識（視覚）や言語認識（聴覚）に関連したいわゆる認知に属することがらは本報の対象としては除外し、認知機能と深く関連しない単純な物理的刺激（明るさ、色、音の高さ、音の大きさ等）に対する感覚機能を対象とする。つまり、視覚の場合であれば、文字の表示装置のための照明設計において、ユーザが楽に文字を判読できるような照明機器の設計解を求める、といったケースである。また、聴覚の場合であれば、聴覚的に不快でない作動音レベルの生活機器の設計解を求める、といったケースである。

3. 過去の研究事例

上記の2.で述べたような感覚機能を対象に設計解を求める研究が既に行われている[2]～[13]。代表的な研究例を紹介し、研究の現状を述べる。

「触覚・圧覚」を対象に稲垣ら[2]は、車のシートの座り心地・乗り心地に関して研究を行っている。従来、シートの「物理特性と感性品質の直接的な関連付け」が行われていたが、両者の間にはこれを橋渡しする「人間の要因」が介在しているので、人間の感覚器を介した効果を考慮する必要がある、と述べている。

「触覚・圧覚」を対象に、大塚ら[3]は、布の触感であるチクチク感に関して、繊維の先端が皮膚に刺さり刺激し

^{*1} : アイシン精機株式会社

^{*2} : 大阪市立大学大学院 生活科学研究科

^{*1} : Aisin Seiki Co., Ltd.

^{*2} : Graduate School of Human Life Science, Osaka City University

表 1 感覚機能の臨床的分類

Table 1 Clinical classification of the sensory function

分類		部位	感覚の例
特殊		頭	視覚、聴覚、平衡覚、嗅覚、味覚
体性	表面	皮膚、粘膜	触覚、圧覚
	深部	骨格筋、腱、関節、骨	固有受容感覚
内臓		内臓	内臓痛、関連痛、臓器感覚

ているという物理モデルから、繊維の座屈荷重とチクチク感の関連を推定している

「触覚・圧覚」に関する第 3 の例として小川ら[4]は、電気シェーバの握り性に関して、官能値の設計特性への変換を行っている。重回帰分析によって握り性が握り幅感覚、重量感覚および接触感覚の 3 つに分解できることを示し、さらに、これらを設計特性（重量、厚み等）に定量的に関連づけている。

「聴覚」を対象とした例としては武田ら[5]の研究がある。具体的には、車のサンルーフを開放したまま走行する時に発生する音の不快感に関して、音の官能値と物理的指標（音のピークを含むバンドレベル）との定量的関係を見出している。さらに、この物理的指標と車両の設計諸元（設計解）との定量的関係も示している。

上記のいずれの研究においても、官能値と物理量（または物理特性）との相関が論じられているが、どのような物理量を取り上げるのかの一般的指針は論じられていない。また、物理モデルに基づく物理量と設計値との定量的な相関関係を求めるまでは至っていない。このような状況を考慮すると、官能値が与えられた時に設計解を求めるための体系的な手法はまだ確立されていないと思われる。

個別の研究事例とは別に、感性工学による設計手法が示されている。感性工学手法第 I 類 [6]や感性工学手法第 II 類[6]であり、豊富な実績を蓄積してきた。しかし、感性工学が対象とするのは高次の感性であり、これとは別に特定の感覚機能を対象とし、ヒトとモノとの具体的な物理的・心理的な相互作用を取り込んだ設計手法を検討する余地は残されていると思われる。

4. 体系的手法の必要性

4.1 設計の現状

一般的に、製品設計のプロセスは図 1 のようである。生活機器の設計の場合、目標性能は純粋に電氣的・機械的な性能とヒトに係わる性能に分類できる。前者の性能は、工学的な設計計算等によって設計値（図面データ）に変換することが原理的に可能である。しかし、後者のヒトに係わる性能に関しては、工学的な設計計算等に加

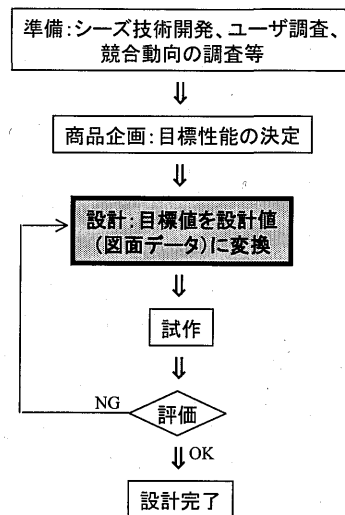


図 1 製品設計のプロセス

Fig. 1 Process of product design

えてヒトがどのように反応するかを考慮した結果を踏まえる必要がある。このため、設計値（図面データ）への変換が容易ではない。また、本報では詳しく述べないが、上記の変換ができた場合でも、トレードオフのクリアを考慮すべきである[14]。つまり、個々の要素の「最適値」を組込むことが全体の最適値とならない場合は、「適正値」や「許容値」を目標性能として設定する必要がある。

上記のような状況に対して、現実の設計現場で行われている対応は大きく分けて次の 2 つの方法である。

(A)トライアンドエラー（直接の相関）

最も単純な方法で、関連する設計値を変化させて複数の試作を行い、ヒトによる評価（生理評価、官能評価、パフォーマンス評価等）によって目標を達成しているかどうかを確認する方法である。関連する設計値が 1 つか 2 つの場合は容易であるが、3 つ以上になると試作・実験の工数が膨大となり、現実的ではない。

(B)現象論的な方法（代用特性）

関連する設計値を変化させて複数の試作を行い、ヒトによる評価を行う点では(A)と同じであるが、この評価を行う際にヒトの評価に関連しそうな物理量をできるだけ多く測定しておく。さらに、測定後に統計的手法（分散分析、多変量解析、実験計画法等）を用いて、これらの物理量とヒトの評価との相関を現象論的に求める。高い相関を見出すことができれば、物理量（代用特性）を指標として設計値の最適化を行うことができ、最終的な確認評価以外のヒトの評価を省略することができる。近年統計的手法を簡便に利用できるソフトウェアが種々流通しているので、多くの企業でこの方法が用いられている。

4.2 体系的手法の必要性

上記のように、代用特性を用いればトライアンドエラーに比較して、ヒトの評価の部分を低減でき効率的であ

るが、基本的に次のような問題点を有している。代用特性とヒトの評価との相関はあくまで現象論的であり、なぜ相関があるのかは不明のままである。換言すれば、プロセスまたはメカニズムが不明のままである。これは単に学問的な厳密さの欠如に留まらない。代用特性はメーカにとって重要な技術蓄積のひとつにはなるが、設計条件の変化した新たな設計を行う場合に既に得られている代用特性が有効かどうかの保証はなく、これを確認する必要がある。また、有効でない場合は、新たな代用特性を見出す必要がある。この状況を解決するためには、有効性が保証された体系的な手法を確立する必要がある。

5. 手法の提案

ここで提案する手法（設計計算手法）は、ヒトの評価に至るプロセスまたはメカニズムを明確にし汎用性を確保することを主眼としている。このため、本報で提案する「官能値から設計解を得る体系的手法」では、ヒトが外部刺激に対してどのように反応するか、というプロセスに基づいて構築する。つまり、ヒトの側では官能値を生じさせている刺激量を特定し、両者を対応付ける。さらに、機器の側ではこの刺激量と設計値を物理モデルによって対応付けるものである。

この手法は全く新たな手法というわけではない。萌芽的なアイデアは前述の稲垣[2]や大塚[4]らが述べている。また、個別課題に対するアプローチの中で、本報で提案する手法の一部は既に使用されている。従って、本報の位置付けは、これら過去の研究に基づき、萌芽的なアイデアを体系化し、官能値から設計解を得るための具体的な手法を提案するものである。

5.1 刺激に対するヒトの反応プロセス

前述のように、本報の手法は、ヒトが外部刺激に対してどのように反応するか、というプロセスに基づいて構築する。そこで、まず、生活機器からの刺激に対するヒトの反応プロセスを整理する。これを図2上段に示す。機器からの外部刺激をヒトの感覚受容器が受容し、さらにこの情報が中枢に送られ情報処理がなされる。この結果として心理反応が生じ、官能評価によって定量的に測定できる。

プロセスは上述のようであるが、情報の流れだけを取り出すと、図2下段のようになる。すなわち、設計情報によって製作された機器はヒトにとっては外部刺激となる物理量を発生する。さらに、この物理量がヒトの感覚器に伝わり、受容量に変換され、神経経路を通じて中枢に伝達される。最後に中枢において官能値に変換される。

上記のような情報の流れを考慮すると、本報にて考慮すべき情報の流れは、設計値（機器）→物理量（刺激）→官能値（心理反応）となる。

5.2 官能値の捉え方と官能評価法の関係

提案する体系的手法には官能評価をどのように行い、

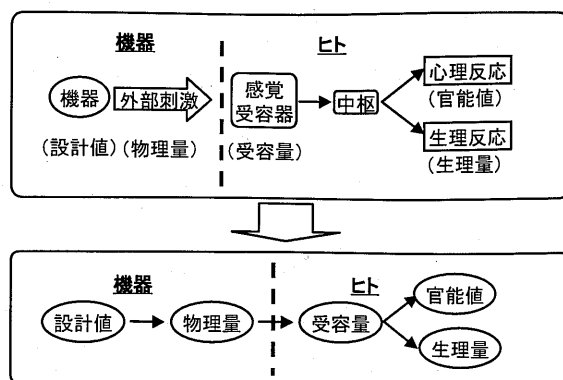


図2 刺激・反応のプロセス

Fig. 2 Process of stimulation

結果をどのように整理するか、という部分が含まれる。このため、この節では、官能値（感覚量）の捉え方と官能評価法の関係をあらかじめ整理しておく。

官能評価において、ヒトに異なる刺激を与えた場合に、その「比」を判断させる方法と「距離」を判断させる方法がある。前者は、Stevens [15]らによって提唱されている方法で、いわゆる Stevens のベキ法則である。

一方、Thurston[16]は「距離」を判断させる方法として、「比較判断の法則」という仮定のもとに、対象となる刺激の混同される程度から間接的にそれらの主観的距離を構成することを提唱している。比判断と距離判断のいずれの方法が基本的であるかは議論の分かれるところであるが、印東[17]は「比判断と距離判断との間の対応関係から、いずれを基本としても一応無矛盾な理論は構成できること、しかし、実験事実としては距離判断から出発する方が無理のないこと」を述べている。本報では、この印東の見解を可とし、距離判断による通常の官能評価法（一対比較法・評点法など）を用いた。

比判断の場合とは異なり、距離判断の場合においては、刺激と反応の関係を考察する際に用いるべき法則が固定されているわけではない。個々の刺激に対する反応を実験によって求めれば、一般には次のような関係を得る。

$$R = f(S) \quad (1)$$

R : 官能値

f : 関数

S : 物理量（刺激量）

5.3 提案する手法と従来の手法

本報で提案する手法の概略は次のようである。任意性のある物理量ではなく、上述の外部刺激となっている物理量を中心に据えて手法を構築する。具体的には、図2下段の刺激・反応のプロセスを逆に辿り、「官能値と物理量の相関」と「物理量と設計値の相関」を用いて、官

能値→物理量→設計値という順番で官能値を設計値に変換するものである(図3の(C))。

5.3.1 従来の設計手法との差異

この手法と従来の設計手法との差異を述べる。まず、4.1で述べた設計現場にて良く使われている方法である「トライアンドエラー(直接の相関)」および「現象論的な方法(代用特性)」を図3の(A)および(B)に示す。トライアンドエラー(直接の相関)の場合、この相関のメカニズムは全くのブラックボックスで現象論的に相関を求めているだけで、本報が目的としている体系的手法からはかけ離れている。次に「現象論的な方法(代用特性)」との差異であるが、図3(B)および(C)の比較からわかるように、2つの相関から設計値を求める点では同一である。差異は官能値と物理量の相関付けにあり、提案する手法では「ヒトの刺激と反応に基づく相関付け」を行う。一方、「現象論的な方法(代用特性)」では、官能値が生ずるベースである「ヒトの刺激と反応」は考慮されていない。まさに現象論的な相関付けであり、プロセスまたはメカニズムの解明が行き止まりとなる。

5.3.2 過去の研究事例との差異

次に、本報の手法と3で述べた過去の研究事例との差異を述べる。

「触覚・圧覚」を対象にした稲垣ら[2]の例や大塚ら[3]の例は、本報の手法と同様のことを提唱していると思われる。しかし、提唱は概念に留まり、具体的な手法の提案や手法の適用には至っていない。「触覚・圧覚」を対象に小川ら[4]の例では、複合的な感覚(電気シェーバの握り性)がより低位な3つの感覚(握り幅感覚、重量感覚、接触感覚)に分解できることを示している。しかし、分解された3つの感覚と設計値との対応は図3の(A)の直接の相関に留まっている。「聴覚」を対象とした武田ら[5]の例では、官能値と物理量の相関は「ヒトの刺激と反応に基づく相関付け」を行っている。しかし、物理量と設計値の相関に関しては現象論的であり、物理モデルによる相関付けを行っていない。

以上のように、過去の研究事例においては、概念的に本報の手法と同様な提案はあるが、体系的な手法としての「具体的な手法の提案」や「手法の適用」には至っていないと考えられる。

5.4 提案する手法の具体的内容

本報で提案する手法は以下のようなものである。

(I)官能値の定量化

まずは、機器側の条件を変化させた実験を行い、設計対象である官能(感覚)を評点法・一対比較法などによって間隔尺度または比例尺度での定量化を行う。

(II)官能値と物理量の相関付け

機器側の条件を変化させると、同時にヒトに与える刺激が変化している。この際に重要なポイントは、刺激さ

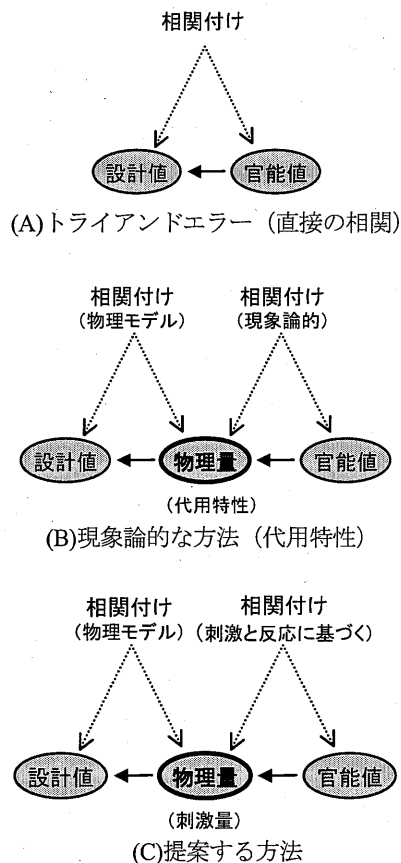


図3 官能値から設計値への変換

Fig. 3 Conversion of sensory value to design value

れている部位にてどのような現象が起きており、この結果としてどのような外部刺激が設計対象の感覚を生じさせているかを詳細に検討することである。この結果として、候補となる刺激(物理量)を見出す。さらに、回帰分析により、推定した刺激が実際に官能と相関しているかを検証する。この回帰分析によって、感覚量と刺激量の関係は上記5.2で述べた式(1)の具体的な形を得る。この際、Weber比がほぼ一定であれば、Weber-Fechnerの法則に基づいた関係が得られる。

感覚を生じさせている主要な刺激がひとつである場合ばかりとは限らない。すなわち、感覚を生じさせる主要な刺激が複数である場合も考えられる。このような場合には、目標の感覚を刺激・反応のプロセスで捕捉可能な下位の感覚に分解する必要がある。分解の必要性の判別については、以下のような手順が考えられる。比較的単純な感覚の場合、分解の必要はない。例えば、武田ら[5]の例のような「ウインドスロップによる聴覚的な圧迫感」の場合、おのずから、刺激としてはウインドスロップによる車室内の圧力変動と特定される。また、若干込み入った感覚であっても、設計的に分離が可能な場合も分解の必要はない。例えば、後述の「温水洗浄便座も強さ感」の場合、この感覚に対しては水の温熱感と水勢感が寄与

すると考えられる。しかし、温水洗浄便座の使用条件としては、一般的に最も好まれている水温（37.5℃、水温設定の「中」）で使用されることが多いため、水温を一定に保ち、洗浄強さ感＝水勢感として、水勢感を生じさせる刺激を見出せば良い。つまり、複数の因子があったとしても、設計上より少ない因子での評価で十分な場合が多い。さらに、後述の「枕の寝返り性」に関しても同様で、この感覚に関しては頭部回転時の枕のすべり感と枕の抗力感が寄与すると考えられる。しかし、使用する枕シーツを固定すれば、すべり感は固定されるため、抗力感を生じさせる刺激を見出せば良い。上記のようなケースに当てはまらない場合は、目標の感覚を分解する必要がある。この場合、小川ら[4]が行ったように、目標の感覚（電気シェーバの「握り性」）を構成すると考えられる複数の下位の感覚によって因子分析を行う。これによって目標の感覚の構成因子（「握り巾感覚」、「重量感覚」および「接触感覚」）を見出すことができる。さらに重回帰分析によって構成因子の定量的な寄与度が明確になる。

分解された構成因子であるそれぞれの官能値に対して、対応する刺激（物理量）を見出す。この場合の官能値から設計値への変換のプロセスは図4のようである。ただし、分解されたひとつの官能値に対して、対応する刺激が複数の場合もあり得るが、既に下位の官能値に分解されているので、可能性は少ないと思われる。

(Ⅲ)設計値と物理量の相関付け

上記の特定された物理量が、機器側においてどのようなメカニズムによって発生しているかを考察し、定量的な物理モデルを構築する。このプロセスは純粋に工学的であり、適切な物理モデルを構築すれば、物理量 S は複数の設計パラメータ（図面値や使用・環境条件等）に定量的に関連付けられ、次式のような関係が得られる。

$$S = g(p_1, p_2, \dots, p_k) \quad (2)$$

g : 関数

p_i : 設計パラメータ ($i=1, 2, \dots, k$)

k : 設計パラメータの個数

以上によって、物理量と設計解（設計値）とを定量的に相関付ける。

(Ⅳ)官能値から設計解を求める

上記の2つの相関（官能値と物理量、物理量と設計値）を利用すれば、目標とする官能値は、官能値→物理量→設計値という2回の変換によって設計値に変換される。

上記に提案した手法の長所は、ヒトの感覚機能を対象とする機器に対しては原理的に同様の方法が適用できるという点であり、その理由は以下のようである。

- ・ 「官能値と物理量の相関」に関しては、ヒトが外部刺激に対してどのように反応するかというプロセス

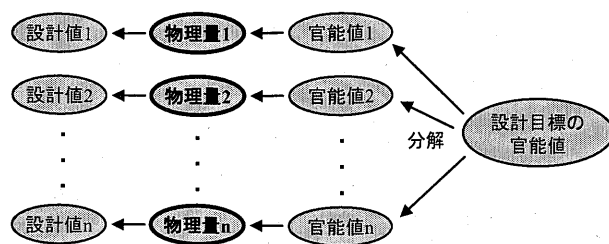


図4 官能値から設計値への変換（複数刺激の場合）

Fig. 4 Conversion of sensory value to design value (multiple stimulus)

に基づいて決定しており、任意の物理量ではなく反応に対応する刺激量としての物理量を用いており、任意性が少なく統一である。

- ・ 「設計値と物理量の相関」に関しては、メカニズムがブラックボックス化された現象論的な相関付けではなく、物理量が発生するメカニズム（物理モデル）の結果として相関付けられている。
- ・ 上記の2つの相関はいずれの機器に対しても求めることができ、この2つの相関のみで目標とする官能値を設計値に変換することが可能となる。

従って、この手法の主たる適用要件は以下のようである。

- ・ 対象としている感覚（官能）と相関の高い刺激（物理量）を見出す必要がある。
- ・ 物理量を発生させる明確なメカニズム（物理モデル）の推定が必要である。

6. 手法の適用

提案した手法の適用妥当性を検討するために、2つの異なった感覚に適用した事例を以下に述べる。いずれも表1の分類における体性感覚に相当するが、第1は表面感覚（触覚、圧覚）に関する事例（温水洗浄便座の洗浄強さ感）であり、第2は深部感覚（固有受容感覚）に関する事例（枕の寝返り性）であり、異なった感覚への適用例である。

7. 具体的な適用例Ⅰ

温水洗浄便座の具体的な設計課題に5.で述べた手法を適用した事例を述べる。ただし、詳しい内容は参考文献[18]に記したので、ここでは概要を記載する。

7.1 設計の目的

温水洗浄便座において、主要な快適性のアイテムである「洗浄強さ」に関しては、ヒトによって好みが大幅に異なるため、市販されているほとんど全ての機種で、ダイヤル（またはボタン）にて可変できるようになっている。そこで、ユーザが必要とする洗浄強さ感（官能値）の範囲を設計値に変換することを目的とする。

7.2 官能値の尺度構成

まず、被験者8名で一対比較法による官能評価を行い、官能値（洗浄強さ感）とダイヤル位置との関係を求めた。この結果を表3に示す。ただし、表中の α_i はダイヤル位置 i の洗浄強さ感（相対値）である。ただし、水温に関しては、一般的に最も好まれている水温条件（37.5℃、水温設定の「中」）で実施した。

7.3 官能値と物理量の相関

官能値（洗浄強さ感）に対応する刺激量（物理量）を探索するため種々の物理量を測定し、これと官能値との相関を調査した。具体的には、噴流が肛門部に発生させる物理量である、圧力・圧力分布・衝突力（荷重）等と官能値との相関を検討した。この結果、相関の高い物理量として、洗浄部位（肛門）への「噴流の衝突力」を見出した。この結果を図5に示す。

7.4 設計値と物理量の相関（物理モデル）

次に、外部刺激となって官能値（洗浄強さ感）を生じさせていると考えられる「噴流の衝突力」に関して、発生メカニズムを考慮し、物理モデルを検討した。

ノズルから噴出した噴流が肛門およびその周辺の皮膚に衝突し、噴流の持っている運動量が衝突力に変化すると考えられる。この場合、連続流（＝噴流の運動量に時間変化がない）であれば、単位時間あたりの運動量の変化が衝突力に等しい。このことを考慮すると、衝突力 F は以下の式で表される。

$$F = \rho Q \sqrt{(Q/S_0)^2 - 2gh} \quad (3)$$

ρ : 水の密度 [kg/m³]

Q : 噴流の流量 [m³/s]

S_0 : ノズル噴出孔の面積 [m²]

g : 重力加速度 [m/s²]

h : ノズル噴出孔から洗浄位置までの距離 [m]

この式は、噴流の流量と洗浄ノズルの設計値（ノズル噴出孔の面積および洗浄位置までの距離）がわかれば、衝突力を算出することができることを示しており、物理モデルによって、設計値と物理量の相関を求めることができる。

7.5 設計解

ユーザが必要とする洗浄強さ感（官能値）の範囲を調査するため、「使用する水勢範囲の上限値と下限値をダイヤル位置（噴流の衝突力）で答えて下さい」という指示を与え、被験者61名による別の官能評価を実施した。この結果、ユーザが必要とする洗浄強さ感の範囲を噴流の衝突力で表せば、 $4.9 \times 10^{-3} \sim 4.7 \times 10^{-1} \text{ N}$ （0.50～48.2gf）であることがわかった。

表3 洗浄強さ感 α_i の推定値[18]

Table 3 Estimated value of sensory intensity α_i [18]

i (ダイヤル位置)	1 (160度)	2 (120度)	3 (90度)	4 (50度)	計
α_i	1.72	0.38	-0.66	-1.44	0.00

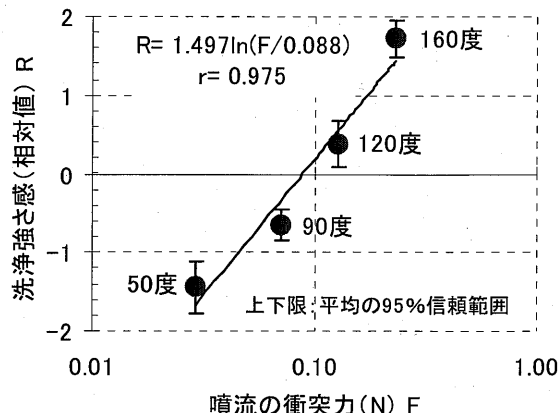


図5 衝突力と強さ感の相関[18]

Fig.5 Relation between collision force and sensory intensity[18]

この結果より、ユーザが必要とする洗浄強さ感を満足させるためには、噴流の衝突力の範囲 $4.9 \times 10^{-3} \sim 4.7 \times 10^{-1} \text{ N}$ と式(3)を用いて設計値に変換することができる。例えば、ノズル噴出孔の面積(S_0)とノズル噴出孔から洗浄位置までの距離(h)を設計的に固定すれば、必要な流量範囲(Q)を式(3)と上記の衝突力の範囲によって決定することができる。

8. 具体的な適用例Ⅱ：枕の例

枕の具体的な設計課題に5.で述べた手法を適用した事例を述べる。ただし、詳しい内容は参考文献[19]に記したので、ここでは概要を記載する。

8.1 設計の目的

枕においてヒトに係わる性能（体圧分散性、寝姿勢、寝返り性等）のなかで「寝返り性」は重要である。体幹部を支える寝具（マットレス、敷布団）の寝返り性が良好であっても、枕の寝返り性が悪い場合、頸部への負担が大きく痛みの原因となると考えられる。そこで、枕の寝返り性（官能値）に関する目標性能を設計値へ変換することを目的とする。

8.2 官能値の尺度構成

官能を定量化するため、材料・形状の異なるA～Fの6種類の枕を対象に「寝返りし易さ」に関して、5点（0±2）による評点法にて官能評価を実施した（被験者数16名）。ただし、すべり感を固定するため同一の枕シーツを用いた。この結果を図6に示す。官能評価値の正值側が寝返りし易い側である。

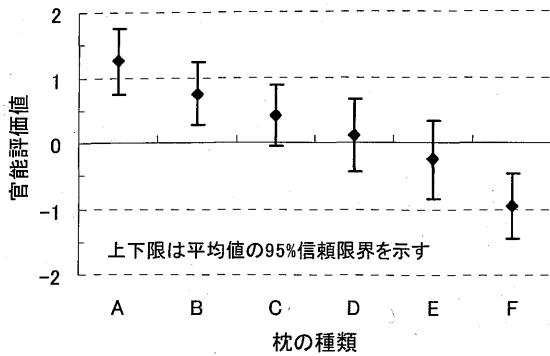


図6 寝返りし易さの官能評価結果[19]

Fig. 6 Sensory evaluation result of turning over in bed [19]

8.3 官能値と物理量の相関付け

官能値（寝返りし易さ、抗力感）に対応する刺激量（物理量）を探索するため以下のような考察を行った。枕の寝返りのし易さは、枕上で頭部を回転させようとする時にこれを妨げる枕からの回転トルクの大小によって決定されると思われる。つまり、回転トルクが大であれば寝返りし難く、逆に回転トルクが小であれば寝返りし易いと考えられる。さらに、ヒトが固定されれば頭部の形状は変化しないことから、「寝返り時の頭部の回転トルク」が目的とする最有力の物理量であると推定できる。以上のような考察を行い、候補となる物理量を見出した。

次に、人体頭部を模擬した円筒およびこの円筒の回転トルクが測定できる装置を用いて、A～Fの枕上で回転トルクを測定した。この結果と前記の官能評価結果（図6）との相関を調べたものが図7である。

図7より推定通り、官能値である「寝返りし易さ」と相関の高い主要な物理量が「頭部の回転トルク」であることが示された。両者の関係は式(4)で表され、Weber-Fechnerの法則に良く従っている。

$$R = -1.588 \ln(\tau / 0.397) \quad (4)$$

R : 官能値（寝返りのし易さ）
 τ : 回転トルク（物理量）[Nm]

8.4 設計値と物理量の相関付け

設計値と物理量（回転トルク）の相関を求めるために回転トルクがどのようなメカニズムによって生じるかを検討する。

ヒトの頭部の回転に伴うトルクの発生要因は以下のようなであると考えられる。変形しない平らな枕を想定すると、回転のためのトルクはほぼ0である。しかし、実際の枕では頭部を枕に載せると枕には沈み込みが生じる。

この状態から回転するためには、枕の力学的物性値と形状に依存して生じる「水平面とある角度（ θ ）をなす坂」を登ることになる。従って、重力に抗して頭部がこ

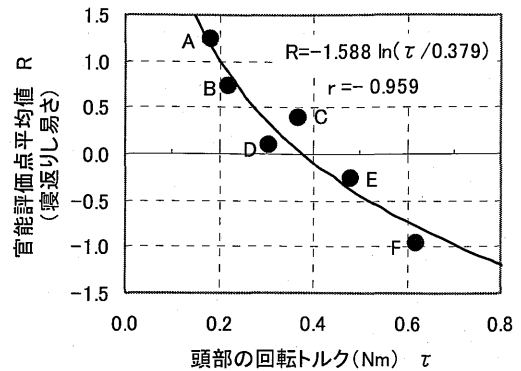


図7 物理量と官能値の相関[19]

Fig. 7 Relation between physical quantity and sensory intensity [19]

の坂を登るのに必要なトルクとして回転トルクが発生する、と考えられる。このことから式(5)の関係式が得られ、実験的にも検証を行った[20]。

$$\tau = dm g \sin \theta \quad [20] \quad (5)$$

d : 頭部の半径 [m]
 m : 頭部の質量 [kg]
 θ : 等価的な坂の傾き角度 [rad]

従って、物理量（トルク）が発生するメカニズムが明確となり、物理量を図形的な設計パラメータ（ θ ，等価的な坂の傾き角度）に変換することができた。

8.5 設計解

8.4までの議論により、官能値と相関する物理量を見出し、この物理量が発生するメカニズムによって設計パラメータとの相関がわかったので、目標とする官能値を設計パラメータに置き換えることができる。

例えば、目標とする官能値を1とする。これは、ユーザの平均値として「やや寝返りし易い」を目標とすることと同等である。この場合、式(4)よりトルクとしては0.20 Nmが目標値となる。さらに式(5)より、設計パラメータ（等価的な坂の傾き角度） θ としては、 6.4×10^{-4} radが目標値となる（ただし、回転トルク測定時の測定条件である、 $r: 80\text{mm}$ 、 $m: 6.4\text{kg}$ 、 $g: 9.8 \text{ m/s}^2$ を用いた）。この後、具体的な枕の設計値（寸法、材質等）に展開する必要がある。種々の方法が考えられるが、例えば枕および頭部の3次元形状をモデリングし、力学的な数値計算（例えば有限要素法）を行えば、設計パラメータ（等価的な坂の傾き角度）を計算することが可能であり、この計算によって設計解を得ることができる。

9. おわりに

本報の主旨を要約すると以下ようになる。

- (1) 既往研究において官能値と物理特性または物理量との相関が論じられているが、設計値との定量的な相関関係を求めるまでは至っておらず、官能値が与えられた時に設計解を求めるための体系的な手法はまだ確立されていない。この状況に鑑み、官能値から設計解を得る体系的な手法として、ヒトが外部刺激に対してどのように反応するかというプロセスに基づいた手法を提案した。
- (2) この手法を温水洗浄便座の洗浄強さ感（触覚・圧覚）および枕の寝返りし易さ（触覚・平衡覚）の2つの事例に適用し、有効性を検証した。

今後、さらに多くの事例によって手法の有効性の確認および改良を実施してゆく。

10. 参考文献

- [1] 大地陸男：生理学テキスト第5版，文光堂，pp.128-128，2007
- [2] 稲垣大 他：シート感性品質評価法，豊田中央研究所 R&D レビュー，Vol.35，No.4，pp.9-14，2000
- [3] 大塚康太郎 他：皮膚と布の相互作用と触感，日本機械学会福祉工学シンポジウム講演論文集，pp.135-138，2004
- [4] 小川哲史 他：電気シェーバの握り性の定量評価法，松下電工技報，Vol.52，No.3，pp.24-29，2004
- [5] 武田生也，稲葉泰久：ワゴン車のウインドスロップを予測する手法の開発，品質管理，Vol.50，No.8，pp.82-86，1999
- [6] 長町三生：感性工学のおはなし，日本企画協会，2003
- [7] 宇治橋貞幸 他：ランニング・シューズのフィット感と形態・圧力の関係，日本機械学会機械力学・計測制御部門講演論文集，Vol.7，pp.1111-1116，2002
- [8] 澤島秀成 他：配食用保温容器における食器の配置に関する研究，デザイン学研究，Vol.52，No.2，pp.15-22，2005
- [9] 山本貴則 他：皮膚表面温度を用いたタオルの吸水性と快適性の評価，繊維機械学会誌，Vol.58，No.7，pp.83-88，2005
- [10] 長沢伸也：感性工学と感性評価，ファジィシステムシンポジウム講演論文集，Vol.17，pp.673-676，2001
- [11] 西松豊典：繊維製品評価における感性情報の定量化について，繊維機械学会誌，Vol.51，No.12，pp.641-645，1998
- [12] 関口泰久 他：自動車におけるドア閉めの音質評価（第2報：ドア閉め音の音質目標設定法の検討），設計工学，Vol.41，No.6，pp.321-326，2006
- [13] 成瀬哲哉 他：人間工学的手法による木製椅子の快適性評価と機能設計に関する研究（第11報）座面の物理特性と心理量の関係，岐阜県生活技術研究所研究報告，Vol.8，pp.27-33，2006
- [14] 岡田明：ユニバーサルデザインにおける人間特性データの応用，経営システム，Vol.16，No.3，pp.129-133，2006
- [15] Stevens, S.S.: The direct estimation of sensory magnitude, Am. Jour. Psychol., Vol.69, pp.1-25, 1956
- [16] Thurston, L.L.: Measurement of values, Univ. Chicago Press, 1959
- [17] 印東太郎：「感覚尺度構成法」，和田洋平ほか（編）：『感覚知覚心理学ハンドブック』，誠信書房，pp.56-73，1963
- [18] 上西園武良，葉袋賢一，岡田明：温水洗浄便座における洗浄強さ感に関する研究 洗浄強さ感を設計値に変換する方法について，デザイン学研究，83-88，55，2，2008
- [19] 上西園武良，岡田明，池浦良淳：枕の開発における効率的な人間中心設計の方法 寝返り性能を設計値に変換する方法について，デザイン学研究，29-34，54，5，2008
- [20] 村田康弘，池浦良淳，上西園武良，内藤公孝，和阪学弘，安達優，水谷一樹，澤井秀樹：枕上における頭部の寝返り抵抗トルクの解析，機械学会論文集，印刷中

（2008年5月19日受付、2009年1月30日受理）

著者紹介

上西園 武良 （正会員）



1975 年大阪大学大学院理学研究科修士課程修了。翌年，アイシン精機株式会社に入社，現在，同社主席技師。主として，人間工学を活用した住生活機器の研究・開発に従事。認定人間工学専門家。日本人間工学会東海支部委員。日本人間工学会，日本デザイン学会，日本機械学会，自動車技術会会員。

岡田 明 （正会員）



1980 年千葉大学大学院工学研究科修士課程修了。日本大学医学部，千葉大学工学部を経て，現在，大阪市立大学大学院生活科学研究科教授。専門は人間工学。主として機器操作時の身体的精神的ストレスやエルゴデザイン・ユニバーサルデザイン等の研究に従事。日本デザイン学会理事，日本生理人類学会理事，人類動態学会理事，ISO（国際標準化機構）／TC159（人間工学）／SC3（人体計測と生体力学）委員。医学博士。